2. INVENTARIO DE SEÑALES Y DRENAJES

Se realizó un recorrido por la intersección de Puente Aranda haciendo un inventario de las señales existentes:

2.1 SEÑALES VERTICALES

Las señales verticales son placas fijadas en postes o estructuras instaladas sobre la vía o adyacentes a ella, que mediante símbolos o leyendas determinadas cumplen la función de prevenir a los usuarios sobre la existencia de peligros y su naturaleza, reglamentar las prohibiciones o restricciones respecto del uso de las vías, así como brindar la información necesaria para guiar a los usuarios de las mismas.

De acuerdo con la función que cumplen, las señales verticales se clasifican en:

- Señales preventivas.
- Señales reglamentarias.
- Señales informativas.

En la intersección de Puente Aranda se encontraron señales preventivas (SP) y señales reglamentarias (SR), así:

Tabla N° 2.1. Señales preventivas existentes en Intersección Puente Aranda

SEÑAL	CANTIDAD
SP - 59	2
SP - 46	2
SP - 50	6
SP - 28	3
SP - 50	6
SP - 28	3
SP - 50	6
SPC - 46	2

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 2.2. Señales reglamentarias existentes en Intersección Puente Aranda

SEÑAL	CANTIDAD
SR - 28	2
SR - 01	8
SR - 02	5
SR - 41	7
SR - 02	5
SR - 41	7
SR - 02	5
SR - 28	9
SR - 38	6
SR - 18	2
SRC - 01	7
SRC - 02	10

Fuente: Elaboración propia

2.2 INVENTARIO DE DRENAJES

En cuanto al inventario de drenajes, éste se encuentra contenido en el documento Nº 701_062A_07V0 "PLANOS E INFORME FINAL DE REDES HIDROSANITARIAS EXISTENTES INTERSECCIÓN PUENTE ARANDA - ETAPA DE FACTIBILIDAD - VERSIÓN 0" de junio 12 de 2007, presentado como otro producto de esta Consultoría.

3. EVALUACIÓN DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL (IRI)

La medición del IRI se llevó a cabo mediante el rugosímetro MERLIN (acrónimo de la terminología inglesa Machine for Evaluating Roughness using low-cost INstrumentation)

La Figura N° 3.1 presenta un esquema del instrumento, consta de un marco formado por dos elementos verticales y uno horizontal. Para facilidad de desplazamiento y operación, el elemento vertical delantero es una rueda, mientras que el trasero tiene adosados lateralmente dos soportes inclinados, uno en el lado derecho para fijar el equipo sobre el suelo durante los ensayos y otro en el lado izquierdo para descansar el equipo. El elemento horizontal se proyecta, hacia la parte trasera, con 2 manijas que permiten levantar y movilizar el equipo, haciéndolo rodar sobre la rueda en forma similar a una carretilla.

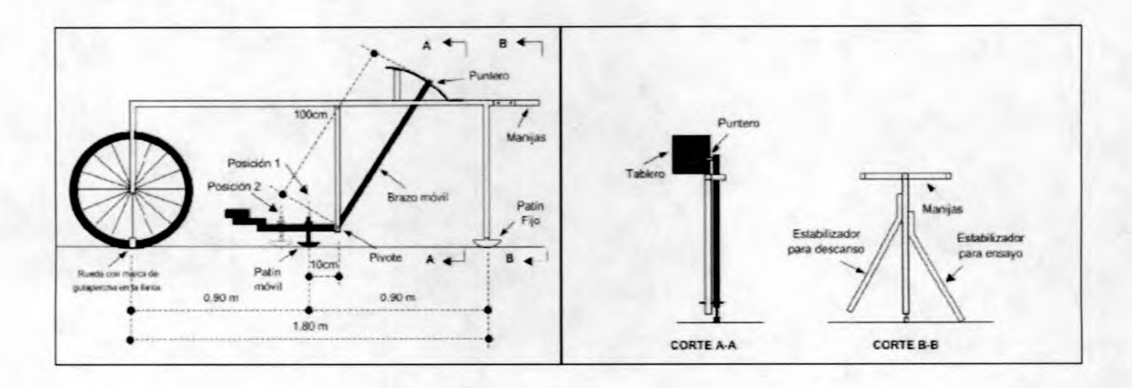


Figura N° 3.1 Esquema del Rugosímetro Merlín

Aproximadamente en la parte central del elemento horizontal, se proyecta hacia abajo una barra vertical que no llega al piso, en cuyo extremo inferior pivotea un brazo móvil. El extremo inferior del brazo móvil esta en contacto directo con el piso, mediante un patín empernado y ajustable, el cual se adecua a las imperfecciones del terreno, mientras que el extremo superior termina en un puntero o indicador que se desliza sobre el borde de un

tablero, de acuerdo con la posición que adopta el extremo inferior del patín móvil al entrar en contacto con el pavimento.

La relación de brazos entre los segmentos extremo inferior del patín móvil-pivote y pivote-puntero es 1 a 10, de manera tal que un movimiento vertical de 1 mm, en el extremo inferior del patín móvil, produce un desplazamiento de 1 cm del puntero. Para registrar los movimientos del puntero, se utiliza una escala gráfica con 50 divisiones, de 5 mm de espesor cada una, que va adherida en el borde del tablero sobre el cual se desliza el puntero (Figura N° 3.2).

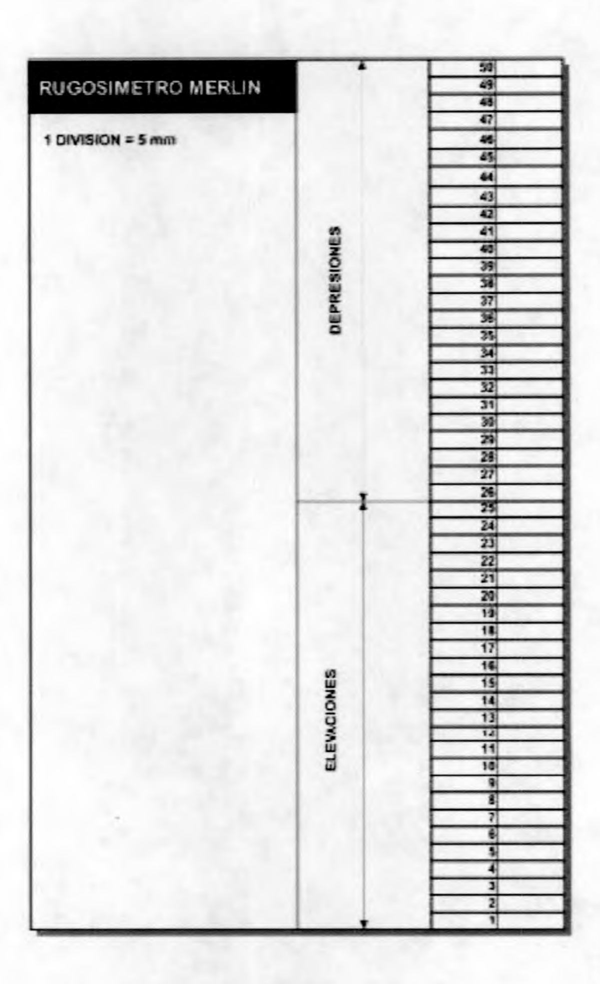


Figura N° 3.2 Escala para determinar la dispersión de las desviaciones de la superficie del pavimento respecto al nivel de referencia

3.1 EJECUCIÓN DEL ENSAYO

Para la ejecución de los ensayos se requiere de dos personas que trabajan conjuntamente, un operador que conduce el equipo y realiza las lecturas y un auxiliar que las anota. Para determinar un valor de rugosidad se deben efectuar 200 observaciones de las "irregularidades que presenta el pavimento" (desviaciones relativas a la cuerda promedio), cada una de las cuales son detectadas por el patín móvil del MERLIN, y que a su vez son indicadas por la posición que adopta el puntero sobre la escala graduada del tablero, generándose de esa manera las lecturas.

Las observaciones se realizan estacionando el equipo a intervalos regulares, para éste caso cada 1m de distancia; en la práctica esto se resuelve tomando como referencia media circunferencia de la rueda del MERLIN, que es aproximadamente esa dimensión, es decir, cada ensayo se realiza al cabo de media vuelta de la rueda. En cada observación el instrumento debe descansar sobre el camino apoyado en tres puntos fijos e invariables: la rueda, el apoyo fijo trasero y el estabilizador para ensayo. La posición que adopta el puntero corresponderá a una lectura entre 1 y 50, la que se anota en un formato de campo.

El formato consta de una cuadrícula compuesta por 20 filas y 10 columnas; empezando por el casillero (1,1), los datos se llenan de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha. El proceso de medición es continuo y se realiza a una velocidad promedio de 2 km/h. La prueba empieza estacionando el equipo al inicio del trecho de ensayo, el operador espera que el puntero se estabilice y observa la posición que adopta respecto de la escala colocada sobre el tablero, realizando así la lectura que es anotada por el auxiliar. Paso seguido, el operador toma el instrumento por las manijas, elevándolo y desplazándolo la distancia constante seleccionada para usarse entre un ensayo y otro (media vuelta de la rueda).

En la nueva ubicación se repite la operación explicada y así sucesivamente hasta completar las 200 lecturas. El espaciado entre los ensayos no es un factor crítico, pero es recomendable que las lecturas se realicen siempre estacionando la rueda en una misma posición, para lo cual se pone una señal o marca llamativa sobre la llanta (con cinta de color, por ejemplo), la que debe quedar siempre en contacto con el piso. Ello facilita la labor del operador quien, una vez hecha la lectura, levanta el equipo y controla que la llanta gire media vuelta haciendo coincidir nuevamente la marca sobre el piso. Las siguientes fotografías muestran el equipo de medición.





Fotografía N° 3.1 Mediciones de rugosidad con el Merlín



Fotografía N° 3.2 Mediciones de rugosidad con el Merlín

Para el caso de la Intersección de Puente Aranda se tomaron datos cada 200 m en ambas huellas, posteriormente se procesó la información obteniendo el IRI promedio en sectores de 200 m. Para el cálculo del OPI, se

toman sectores de 100 m manteniendo el valor de IRI promedio de cada sector medido. Los formatos de campo pueden observarse en el Anexo Nº 2.

3.2 PATRONAMIENTO DEL MERLÍN

Como parte del proceso de medición de la rugosidad está el patronamiento de los diferentes equipos empleados para su medición, en el caso específico del Merlín se procede a tomar el IRI en una pista de 200 m de longitud mediante mira y nivel, posteriormente se mide con el Merlín y se determina la correlación respectiva entre las dos mediciones. Dicha correlación se aplica a las lecturas tomadas a fin de que sean equivalentes a las medidas tomadas con topografía.

Del proceso antes realizado se determinó que para hacer equivalentes las mediciones era necesario trabajar los resultados del Merlín con un percentil 95, adicionalmente la proporción a aplicar se resume en la siguiente Tabla Nº 3.1:

Tabla Nº 3.1 Segmentos Evaluados en las intersecciones de Puente Aranda

Equipo de Medición	IRI (m/km)	Factor de corrección
Merlín	3.81	12.467
Topografía	4.75	

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de campo de topografía y del merlín, obtenidos en el proceso de patronamiento se pueden observar en el Anexo Nº 3.

3.3 CÁLCULO DE LA RUGOSIDAD

Para la generación de los 200 datos que se requieren para determinar un valor de rugosidad, se emplea una escala arbitraria de 50 unidades colocada sobre el tablero del rugosímetro, la que sirve para registrar las doscientas posiciones que adopta el puntero del brazo móvil. La división Nº 25 debe ser tal que corresponda a la posición central del puntero sobre el tablero cuando el perfil del terreno coincide con la línea o cuerda promedio. En la medida que las diversas posiciones que adopte el puntero coincidan con la división 25 o con alguna cercana (dispersión baja), el ensayo demostrará que el pavimento tiene un perfil igual o cercano a una línea recta (baja rugosidad).

Por el contrario, si el puntero adopta repetitivamente posiciones alejadas a la división N° 25 (dispersión alta), se demostrará que el pavimento tiene un perfil con múltiples inflexiones (rugosidad elevada).

La dispersión de los datos obtenidos con el MERLIN se analiza calculando la distribución de frecuencias de las lecturas o posiciones adoptadas por el puntero, la cual puede expresarse, para fines didácticos, en forma de histograma (Figura N° 3.3). Posteriormente se establece el Rango de los valores agrupados en intervalos de frecuencia (D), luego de descartarse el 10% de datos que correspondan a posiciones del puntero poco representativas o erráticas. En la práctica se elimina 5% (10 datos) del extremo inferior del histograma y 5% (10 datos) del extremo superior.

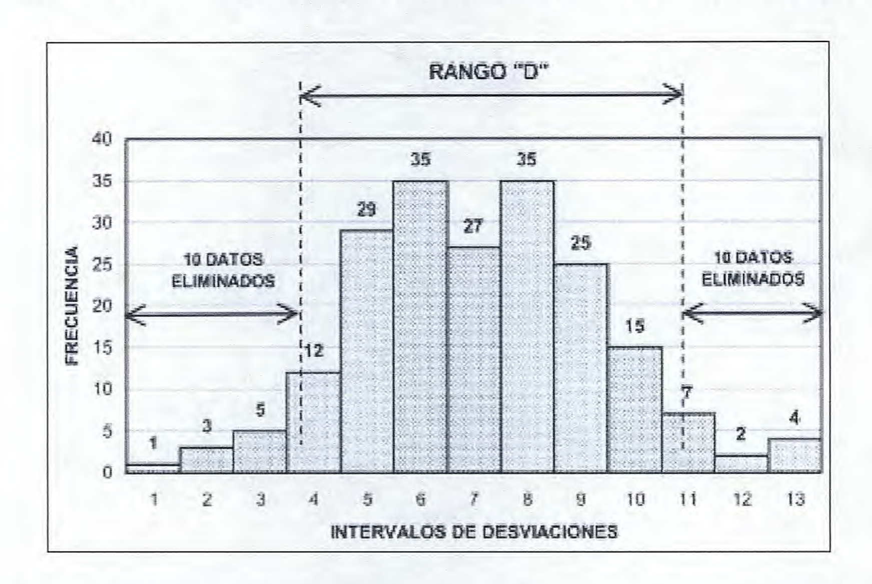


Figura N° 3.3 Histograma de la distribución de frecuencias de una muestra de 200 desviaciones

Efectuado el descarte de datos, se calcula el "ancho del histograma" en unidades de la escala, considerando las fracciones que pudiesen resultar como consecuencia de la eliminación de los datos. En la Figura N° 3.3, por ejemplo, en el extremo inferior del histograma, se tiene que por efecto del descarte de los 10 datos se eliminan los intervalos 1, 2 y 3, y un dato de los doce que pertenecen al intervalo 4, en consecuencia resulta una unidad fraccionada igual a 11/12=0.92. Caso similar sucede en el extremo superior del histograma, en donde resulta una unidad fraccionada igual a 3/7=0.43. Se tiene en consecuencia un Rango igual a 0.92+6+0.43=7.35 unidades.

El Rango D determinado se debe expresar en milímetros, para lo cual se multiplica el número de unidades calculado por el valor que tiene cada unidad en milímetros (7.35x5mm=36.75mm).

Para relacionar la rugosidad determinada con el MERLIN con el Índice de Regularidad Internacional (IRI), que es el parámetro utilizado para uniformizar los resultados provenientes de la gran diversidad de equipos que existen en la actualidad, se utilizan las siguientes expresiones[1]:

Para valores de IRI entre 2.4 m/km y 15.9 m/km:

$$IRI = 0.593 + 0.0471*D$$

Para valores de IRI inferiores a 2.4 m/km:

$$IRI = 0.0485*D$$

3.4 RESULTADOS OBTENIDOS DEL IRI

Una vez llevado a cabo el procedimiento de campo y el procesamiento descrito anteriormente, se obtienen los resultados que se resumen en la Tabla Nº 3.2 .

Tabla Nº 3.2 Resultados de la Evaluación del IRI promedio de las dos huellas

VÍA	DESDE	HASTA	IRI PROMEDIO (m/km)
EJE 01	0	200	4.46
	200	374	4.64
EJE 02	0	200	4.61
	200	383	5.28
EJE 03	0	200	7.52
	200	285	3.91

[1] DEL AGUILA RODRÍGUEZ, Pablo. Metodología para la determinación de la rugosidad de los pavimentos - Manual del usuario Merliner – Merlín equipo para rugosidad.

Tabla N° 3.2 Resultados de la Evaluación del IRI promedio de las dos huellas

VÍA	DESDE	HASTA	IRI PROMEDIO (m/km)
EJE 04	0	200	5.24
	200	400	3.59
	400	508	4.05
EJE 05	0	200	4.11
	200	400	4.79
	400	464	4.09
EJE 06	0	200	3.79
	200	400	4.04
EJE 07	0	200	4.08
	200	400	4.00
EJE 08	0	200	4.48
	200	316	4.15
EJE 09	0	200	3.63
	200	284	4.03
EJE 10	0	200	3.12
	200	308	3.65
EJE 11	0	200	2.55
EJE 12	0	200	3.13
EJE 13	VÍA DESTAPADA		
EJE 14	0	200	3.42
	200	400	2.29
EJE 15	0	200	3.09
	200	314	3.06
EJE 16	0	200	4.46
	200	306	4.86
EJE 17	0	200	4.14

Fuente: Elaboración propia

Dado lo anterior, se tiene que la rugosidad máxima dentro de los tramos analizados es de 7.5 m/km, la mínima es de 2.3 m/km y el promedio es de 4.1 m/km. El cálculo de la rugosidad puede apreciarse en el Anexo N° 4.

4. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE FALLAS DEL PAVIMENTO (MDR)

Se llevó a cabo el inventario de daños relevando todas y cada una de fallas de la superficie del pavimento, indicando el tipo, extensión y severidad, de acuerdo a la metodología Distrito de Mantenimiento. En la siguiente tabla se puede observar los daños inventariados.

Tabla Nº 4.1 Códigos y Daños Inventariados en Pavimentos Flexibles

Código	Nombre	Nomenclatura
1	Fisura Transversal	FT
2	Fisura Longitudinal	FL
3	Desgaste Superficial	DS
4	Ahuellamiento	AH
5	Exudación	EX
6	Corrugación	C
7	Piel de Cocodrilo	PC
8	Bache	B
9	Hundimiento	H

Fuente: Elaboración propia

Para llevar a cabo el inventario de daños se programó una (1) comisión compuesta por un ingeniero con experiencia en patología de pavimentos y un auxiliar, debidamente equipados con los elementos de seguridad como son cascos y chalecos reflectivos. La labor fue realizada a pie, registrando en formatos diseñados para tal fin, los diferentes daños encontrados, sin embargo dado que el inventario se llevó a cabo en condiciones normales de tránsito pueden existir pequeñas diferencias entre lo consignado en los formatos y los daños relevados en situación de cierre total de la vía.

En el Anexo Nº 5 se puede observar el registro del levantamiento de campo de los daños en los segmentos viales evaluados.

Con la información de los daños se determina el Índice de Daño MDR (siglas en inglés de Modified Distress Rating), variable fundamental para la

categorización de cada uno de los segmentos que componen los corredores viales. Su metodología básica se explica a continuación.

Los daños superficiales se califican según el índice de falla denominado MDR o Índice de Daños de la Superficie del Pavimento. El índice de fallas superficiales de las vías pavimentadas, denominado Modified Distress Rating (MDR) varía de 0 a 100, donde 0 simboliza una vía completamente destruida y 100 una vía en perfecto estado superficial. El valor de MDR se calculó bajo la siguiente expresión basada en la Metodología propuesta por el WS DOT – Washington State Department of Transportation:

$$MDR = 100 - \sqrt{\left(\sum pn_i^2\right)}$$

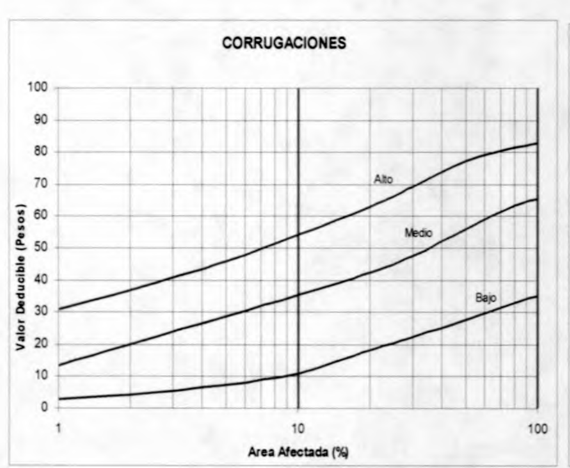
Donde "pn" es el peso de ponderación del daño según su severidad y extensión. Este cálculo, inicialmente, se basa en los valores deducibles obtenidos de las respectivas curvas o pesos en función del grado de severidad y de la extensión del daño de acuerdo con el Sistema PAVER desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos. Estos valores deducibles varían de 0 a 100 indicando el impacto que cada daño tiene sobre la condición del pavimento; así un valor de 0 indica que el daño no tiene efecto en el comportamiento del pavimento, mientras un valor 100 indica un daño de gran influencia.

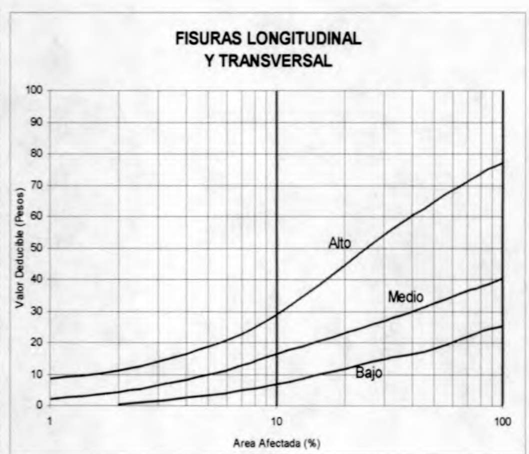
La determinación de los valores deducibles es sencilla mediante el uso de las curvas. Para cada tipo de daño considerando en los trabajos de campo, conociendo el porcentaje de extensión de la superficie dañada en el pavimento (eje X) se intercepta con la curva que representa la respectiva severidad (alta, media o baja) y se establece el valor deducible (eje Y) para cada combinación de tipo de daño y severidad totalizada.

Por ejemplo, si en el segmento vial se presenta un total de cinco ocurrencias de baches de severidad alta, en primer lugar, deben sumarse sus extensiones (expresadas en porcentaje del total de la calzada); luego, con el valor obtenido se ingresa a la curva MDR correspondiente al tipo y severidad de la falla para obtener el valor deducible (que podría denominarse "pnbaches-sev. baja"). Dicho procedimiento se repite para cada combinación de tipo – severidad de falla presente en el segmento, para luego establecer la sumatoria de los cuadrados de los valores deducibles de la expresión anterior. Estos valores deducibles se introducen en la fórmula antes mencionada, obteniéndose el valor del MDR.

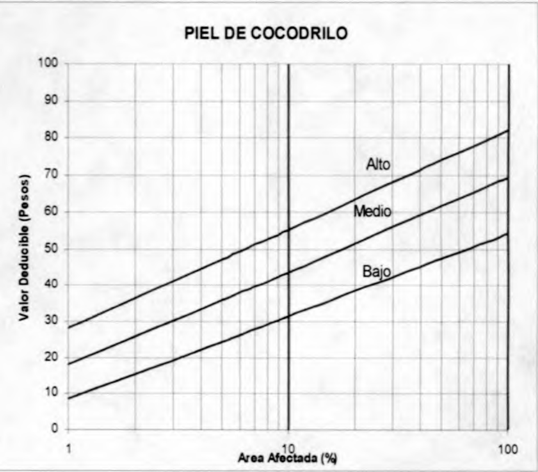
En el caso de vías con alto grado de deterioro, la raíz cuadrada de la sumatoria de los pesos al cuadrado puede resultar mayor que 100, por lo cual al realizar el cálculo se obtendrían valores negativos. Por definición, el MDR es un índice positivo, en estos casos, se asigna un valor MDR = 0.[2]

A continuación, en las siguientes figuras se observan las curvas de deterioro para el pavimento flexible.









---

[2] Las curvas que se utilizan en el presente proyecto son las determinadas en el estudio de calibración de curvas de deterioro para la ciudad de Bogotá, incluidas en el Documento Maestro del IDU.

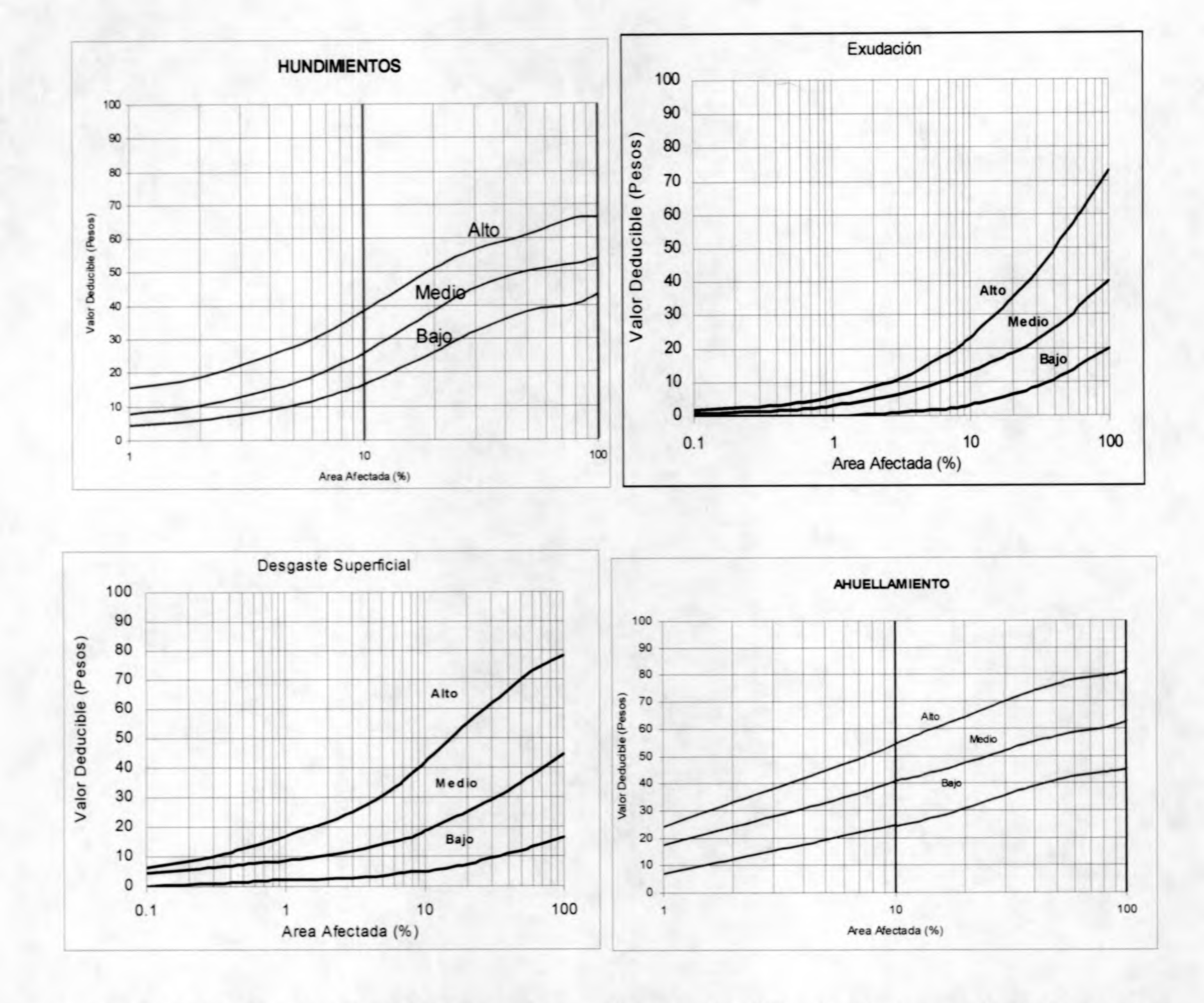


Figura N° 4.1 Curvas de deterioro para pavimento flexible ajustadas a condiciones de Bogotá D.C.

Los daños evaluados y el cálculo del MDR, pueden observarse en el Anexo Nº 5.

4.1 RESULTADOS OBTENIDOS MDR

Una vez llevado a cabo el procedimiento de campo y el procesamiento descrito, se obtuvieron los resultados que se resumen en la Tabla Nº 4.2, para el cálculo del MDR.

Tabla N° 4.2 Resumen de los resultados del cálculo del MDR

SEGMENTO	INICIAL	FINAL	SUP.	TIPO SUPERFICIE	MDR
EJE 1	0	100	2	Flexible	64
	100	200	2	Flexible	85
	200	300	2	Flexible	63
	300	364.5	2	Flexible	53
EJE 2	0	100	2	Flexible	19
	100	200	2	Flexible	63
	200	300	2	Flexible	48
	300	350	2	Flexible	79
EJE 3	0	100	2	Flexible	24
	100	200	2	Flexible	32
	200	264.5	2	Flexible	100
EJE 4	0	100	2	Flexible	66
	100	202	2	Flexible	50
	202	300	2	Flexible	70
	300	400	2	Flexible	60
	400	515.5	2	Flexible	17
EJE 5	0	100	2	Flexible	47
	100	200	2	Flexible	28
	200	300	2	Flexible	19
	300	383	2	Flexible	33
EJE 6	0	100	2	Flexible	29
	100	200	2	Flexible	100
	200	300	2	Flexible	100
	300	400	2	Flexible	66
	400	441.5	2	Flexible	100
EJE 7	0	100	2	Flexible	62
	100	200	2	Flexible	37
	200	300	2	Flexible	54
	300	400	2	Flexible	33
	400	450	2	Flexible	60
EJE 8	0	100	2	Flexible	51
	100	201.8	2	Flexible	52
	201.8	300	2	Flexible	90
	300	320.5	2	Flexible	100

Tabla Nº 4.2 Resumen de los resultados del cálculo del MDR

SEGMENTO	INICIAL	FINAL	SUP.	TIPO SUPERFICIE	MDR
EJE 9	0	100	2	Flexible	100
	100	200	2	Flexible	100
	200	281.2	2	Flexible	91
EJE 10	0	100	2	Flexible	94
	100	200	2	Flexible	100
	200	288	2	Flexible	100
EJE 11	0	100	2	Flexible	9
	100	200	2	Flexible	13
	200	252	2	Flexible	10
EJE 12	0	100	2	Flexible	7
	100	210	2	Flexible	0
EJE 13	0	100	2	Flexible	0
	100	162.5	2	Flexible	0
EJE 14	0	100	2	Flexible	46
	100	200	2	Flexible	48
	200	300	2	Flexible	39
	300	331	2	Flexible	56
EJE 15	0	100	2	Flexible	100
	100	200	2	Flexible	30
	200	314.5	2	Flexible	67
EJE 16	0	100	2	Flexible	56
	100	200	2	Flexible	46
	200	308.5	2	Flexible	39
EJE 17	0	100	2	Flexible	30
	100	186.5	2	Flexible	19

Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior se puede concluir que para las vías en estudio, el valor del MDR varía entre 0 y 100. Los peores sectores desde el punto de vista de daños superficiales corresponden a los ejes 11, 12 y 13 y los mejores sectores son los que corresponden a los ejes 8, 9 y 10.